

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET

SEKUNDARNA PRODUKCIJA LIČINKI PORODICE HYDROPSYCHIDAE (INSECTA:
TRICHOPTERA) SEDRENIH BARIJERA

SECONDARY PRODUCTION OF LARVAE OF THE FAMILY HYDROPSYCHIDAE
(INSECTA: TRICHOPTERA) ON THE TUFA BARRIERS

Daniela Kreber

Preddiplomski studij Znanosti o okolišu

(Undergraduate Study of Environmental Sciences)

Mentor: izv.prof.dr.sc.Marko Miliša

Zagreb, 2017.

SADRŽAJ RADA

1. UVOD

| | |
|---|---|
| 1.1 Nastanak i obilježja sedre i sedrenih barijera | 1 |
| 1.2 Životni ciklus i opće značajke tulara (Trichoptera) | 2 |
| 1.3 Ekologija i rasprostranjenost tulara (Trichoptera) | 3 |

2. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA SEKUNDARNE PRODUKCIJE

| | |
|---------------------------------------|---|
| 2.1 Područje istraživanja | 5 |
| 2.2 Metode uzorkovanja | 5 |
| 2.3 Obrada uzoraka i analiza podataka | 6 |

3. REZULTATI

| | |
|-------------------------------------|---|
| 3.1 Razdvajanje dviju sličnih vrsta | 7 |
| 3.2 Biomasa i sekundarna produkcija | 9 |

4. RASPRAVA

5. ZAKLJUČAK

6. REFERENCE

7. SAŽETAK

8. SUMMARY

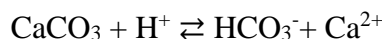
1. UVOD

1.1 Nastanak i obilježja sedre i sedrenih barijera

Plitvička jezera dio su Dinarskog krškog područja, a sustav kaskadnih jezera rezultat je niza kompleksnih geoloških i hidroloških događaja u prošlosti i sadašnjosti. Bitno obilježje sustava Plitvičkih jezera je osedranje - precipitacija kalcijevog karbonata (Primc-Habdija, i sur. 2001). Geološka podloga Plitvičkih jezera je sazdana od vodopropusnog vapnenca i manje propusnog dolomita. Povećanje kiselosti vode, što je posljedica otapanja ugljikova dioksida u oborinskoj vodi i u porama tla, dovodi do povećanja topivosti vapnenca i dolomita u njoj. Tim procesom otapanja nastaje ugljična kiselina koja se u otopini pojavljuje u obliku bikarbonatnog i vodikovog iona koji zatim djeluje u smjeru otapanja kalcijeva karbonata:



Otapanje kalcijevog karbonata:



Do precipitacije kalcita dolazi kada je voda prezasićena otopljenim bikarbonatnim ionima, a gubitak ugljikova dioksida iz iste, ključan je za taj proces (Chen i sur., 2004). Uzrok izlaska ugljikova dioksida iz vode može biti djelovanje metabolizma fotosintetskih organizama ali i heterotrofa koji mijenjanjem svog okoliša ometaju tok vode i tako potiču njenu turbulenciju npr. stvaranjem mreža hidropsihida (Carthew, 2003). To ubrzava precipitaciju kalcita i stvaranje sedre. Mnogi autori potvrđuju da je precipitacija kalcita najintenzivnija u turbulentnim zonama brzog toka vode, u kojima ugljikov dioksid lakše izlazi zbog njenog rasprskavanja i smanjenja parcijalnih tlakova plinova u tekućoj vodi (Zhang i sur., 2000).

Kako se nakupine kristala kalcita povećavaju, tok vode se pojačano ometa i postaje turbulentniji, ugljikov dioksid izlazi, a sedra se akumulira.

Za stvaranje sedre važna je i biološka komponenta, a to su alge, mahovine i mikroorganizmi.

Njihove metaboličke izlučevine (makropolimeri) i čine mjesta nukleacije, a oko kojih se nastavlja taloženje kalcijevog karbonata iz vode i rast sedre (Stilinović, 1994). Neki znanstvenici su smatrali da su u postanku sedrenih barijera bitniji fizičko-kemijski parametri (Chen i sur., 2004), dok su drugi tvrdili da su bitniji živi organizmi (Kempe i Emeis, 1985;

Srdoč i sur., 1985; Chafetz i sur., 1994). Osedranje se ipak ne može promatrati tako jednostrano jer je to složen proces koji je moguć uz uvjet prezasićenosti vode kalcijevim karbonatom, niskom koncentracijom organske tvari i pH-om iznad 8, a očito je da ulogu imaju

i jedni i drugi faktori, tj. živi organizmi i fizičko-kemijski procesi (Matoničkin, Pavletić, 1960).

1.2 Životni ciklus i opće značajke tulara

Tulari su holometabolni kukci, što znači da imaju potpunu preobrazbu. Oni se iz jajeta razvijaju kao imaginifugalna ličinka (ne sliči odraslima i ima mnogo ličinačkih organa) koja se presvlači više puta, a zatim se zakukulji u nepokretnu kukuljicu. U stadiju kukuljice započinje razvoj svih organskih struktura iz imaginalnih pločica koje predstavljaju začetak svih budućih organa u odraslog kukca. Njihov životni ciklus jako se razlikuje između skupina. Postoje vrste koje ciklus završavaju jednom u jednoj godini (univoltne) ili u dvije ili više generacija (multivoltne), ali i one s višegodišnjim ciklusom (semivoltne). Položaj područja na kojem žive ličinke kao i nadmorska visina mogu uvelike utjecati na njihov razvojni ciklus (Kučinić, 2002). Životni ciklus započinje stadijem jajeta. Njih polažu ženke na razne supstrate u vodi, na površinu vode ili na vegetaciju u blizini vode (Malicky, 1973; Morse, 2003). Ličinački razvoj uključuje pet ili više stadija i obično je najduži stadij u životnom ciklusu tulara, a može trajati od dva mjeseca do gotovo dvije godine (Morse, 2003). Period pojavljivanja imaga kod većine traje od proljeća do jeseni (Hickin, 1967; Wallace et al., 1990).

S obzirom na morfološke značajke tulara možemo podijeliti na 1.) eruciformne, cilindričnog oblika tijela s glavom u hipognatnom položaju koji grade kućice od različitog materijala (npr. porodice Limnephilidae, Lepidostomatidae, Sericostomatidae itd.); 2.) kampodeiformne, dorzo-ventralno spljoštenog tijela s glavom u prognatnom položaju koji ne grade kućice već mreže za lov (npr. porodice Hydropsychidae) ili su slobodnolutajuće (npr. porodica Rhyacophilidae) i 3.) suberuciformne, koje su prijelazni oblik između eruciformnih i kampodeiformnih, imaju cilindričan oblik tijela, grade kućice, a položaj glave im je između hipognatnog i prognatnog (karakteristično za porodicu Phrygaenidae) (Hickin, 1967).

Prema načinu ishrane postoje razlike kod odraslih jedinki i ličinki. S obzirom na sklonost pojedine vrste određenom tipu hrane i načinu prehrane toj vrsti se pridružuje nekoliko hranidbenih skupina (Moog, 1995, 2002, 2003). Odrasle jedinke sišu vodu ili nektar s okolne vegetacije dok se ličinke prema prehrani mogu podijeliti na nekoliko skupina: 1.) po tipu hrane: herbivori, detritivori i karnivori i 2.) po načinu uzimanja hrane: strugači (eng. *scrapers* ili *grazers*), usitnjivači (eng. *shredders*), aktivni procjeđivači (eng. *active filter feeders*),

pasivni procjeđivači (eng. *passive filter feeders*), detritivore (eng. *detritus feeders*), bušači (eng. *miners*), ksilofagi (eng. *xylophagous*), grabežljivci (eng. *predators*), nametnici (eng. *parasites*) i ostali (Moog, 1995, 2002, 2003).

1.3 Ekologija i rasprostranjenost tulara (Trichoptera)

Obilje mikrostaništa na području sedrenih barijera Plitvičkih jezera, omogućilo je veliku zastupljenost vodenih kukaca. Zbog mogućnosti adaptacije na različite životne uvjete u vodenim staništima te prilagodbe na različite tipove ishrane, tulari pokazuju veliku bioraznolikost i brojnost vrsta u odnosu na ostale akvatičke kukce (Kučinić, 2002). Proizvodnja predljivih niti u ličinačkih stadija, koje im služe za izgradnju kućica i mreža, jedna je od ključnih prilagodbi koja pridonosi toj dominaciji u brojnosti (Mackay i Wiggins, 1979; Holzenthal i sur., 2007).

Upravo izgradnja mreža ovu skupinu čini dvojakom zanimljivom (i sukladno, idealnom za istraživanje). Izgradnjom mreža ovi kukci djeluju na ekosustav mijenjajući svoj okoliš. Vrste koje su sposobne za takvo djelovanje nazivamo inženjerima ekosustava (eng. *ecosystem engineers*). Ta sposobnost im omogućuje da se izbore za svoj prostor u slatkovodnom ekosustavu i da zauzmu teritorijalno veće i definirane areale od ostalih bentoskih vrsta, ali s druge strane čini ih i ranjivijima na prenapučenost. Uslijed veće gustoće zajednice pojedini bolji kompetitori, a posebno grabežljive vrste tako mogu isključiti hidropsihide iz zajednice (Cardinale i sur. 2004). Osim toga, mreže često posluže i nekim oportunističkim vrstama koje ih koriste za hranjenje jer ih ne mogu stvarati same te su bitan čimbenik u sustavu Plitvičkih jezera jer sudjeluju u procesu nukleacije kristala kalcita tijekom osedranja (Carthew i sur., 2003).

Tulari naseljavaju vodena staništa na svim kontinentima, osim Antartike (Morse, 2003). Ličinke žive većinom na dnu tekućina ili plićih jezera, a neke porodice i u dubljim jezerima (Kučinić, 2002). Imaju veliku važnost u slatkovodnim ekosistemima jer sudjeluju u prijenosu energije od sestona do tkiva životinja i nakupljaju čestice organske tvari iz toka čineći ih dostupnima za bentoske detritivore. Važni su i zbog činjenice da su sposobni prilagoditi se različitim ekološkim uvjetima na svim tipovima staništa, od stajačica do tekućica sa različitim brzinama strujanja vode. Prisutnost odnosno odsutnost tulara i njihova gustoća se zbog prethodno navedenih značajki često upotrebljavaju u biološkoj procjeni i praćenju kvalitete vode (Morse, 2003; Holzenthal i sur., 2007). Vrlo produktivne zajednice javljaju se na mjestima gdje voda istječe iz jezera. Tamo su jedinice specijalizirane za prehranu i pripadaju

procjeđivačkoj fauni (Malmqvist i Eriksson, 1995; Malmqvist i Wotton, 2002). To je prostor koji im daje najbolje uvjete za život, jer se kvalitetna hrana pojavljuje u izobilju, optimalna je temperatura vode i stabilan je protok (Giller i Malmqvist, 1988). Jedinke koje dominiraju u takvom području su ličinke tulara iz porodice Hydropsychidae (Malmqvist i Eriksson, 1995). Takva dominacija ima također i negativan utjecaj na okolna staništa u jezeru, a to dokazuje smanjenje bogatstva vrsta na najproduktivnijim jezerskim ispustima (Malmqvist i sur., 1991; Malmqvist i Eriksson, 1995). Rod *Hydropsyche* jedan je od 5 zabilježenih u Europi iz te brojne porodice, a ujedno je i najbrojniji vrstama (Malicky, 1983).

Tijekom ličinačkog razvoja predstavnici porodice Hydropsychidae mijenjaju način i vrstu prehrane pa tako izbjegavajući predatorski pritisak u najranijim razvojnim stadijima borave dublje u intersticiju gdje je jedini izvor hrane detritus, a u najstarijim stadijima postaju i same predatori (Anderson, 2011). Ovako širokim zauzimanjem ekoloških hranidbenih niša oni predstavljaju važan trofički element u energetske toku sedrotvornih sustava, a u sprezi s izuzetnom brojnošću izvrstan su objekt za istraživanje protoka energije u heterotrofnom dijelu hranidbenih mreža (Miliša i sur., 2006), a također se koristi i u praćenju kvalitete vode (Stuijzand i sur., 1999).

Sukladno svemu iznesenom, jasno je da su istraživanja sekundarne produkcije vrlo varijabilna kako je varijabilna i fauna te posebno njihovi životni ciklusi u ovisnosti o geografskoj (klimazonalnoj) lokaciji. Nadalje kompleksnost izračuna i određivanja ličinačkih stadija dodatan su razlog relativno malog broja istraživanja. Stoga smatram vrijednim opisati metodologiju za razvrstavanje ličinačkih razvojnih stadija i posljedično izračunavanje sekundarne produkcije na primjeru roda *Hydropsyche* na području Plitvičkih jezera.

1. MATERIJALI I METODE ISTRAŽIVANJA SEKUNDARNE PRODUKCIJE

2.1 Područje istraživanja

Pri odabiru lokacija unutar istraživačkog prostora valja odabrati više mjesta sličnih svojstava čime se osigurava pouzdanost kasnijeg izračuna. Uzorke sam prikupljala na dvije sedrene barijere, točnije na izljevima jezera Milanovac (slap Milke Trnine; 44.898076° s.g.š. i 15.610908° i.g.š.; slika 1.) i Novakovića brod (44.90225° s.g.š. i 15.61051° i.g.š.; slika 2.). Obje postaje lijepi su primjer mahovinom obraslih sedrenih barijera (*Palustriella commutata*, *Bryum ventricosum*, *Platyhypnidium rusciforme* i *Didymodon tophaceus*), a također ih karakteriziraju i slični okolišni uvjeti poput okolne vegetacije bukve i jele te akvatičke vegetacije lopuha i vrbe (*Petasites* sp. i *Salix* sp.).

2.2 Metode uzorkovanja

Nužno je za uzorkovanje odabrati kvantitativan uzorkivač, a to je uzorkivač pomoću kojega ne selektiramo zajednicu makrozoobentosa već pomoću korera ili mrežice uzimamo sve jedinke te ih naknadno selektiramo i proučavamo ono nama potrebno. Uzorke sam stoga prikupljala pomoću jezgrila (eng. *corer*, *core sampler*; slika 1.) površine 15,9 cm². Pritisnuto u sedrenu barijeru, jezgrilo je obuhvatilo sloj mahovine i sedre do dubine 10 cm. Na ovaj način dobila sam kvantitativan uzorak volumena 159 mL i osigurala da su sve jedinke zahvaćene uzorkivačem (nije bilo gubitaka koji su mogući uzimanjem uzoraka bentos mrežama). Uzorke sam prikupljala u triplikatu, mjesečno tijekom 12 mjeseci 2016. godine.

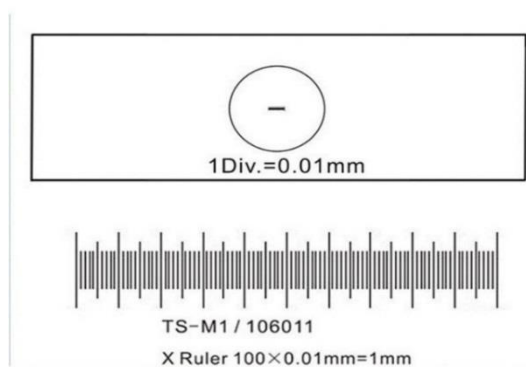


Slika 1: Jezgrilo

2.3 Obrada uzoraka i analiza podataka

Za postizanje točnih rezultata istraživanja valja napraviti kvalitetnu obradu podataka i analizu pomoću odgovarajuće laboratorijske opreme i pribora. Stoga sam iz prikupljenih uzoraka sam od mahovine i sedre odvojila makrozoobentos pomoću lupe Zeiss Stemi c2000. Pregledom prikupljenih uzoraka mogla sam razlučiti nekoliko slojeva po kojima sam opisala i uzrasnu strukturu ličinki. Prvi sloj čini svježa (živa) mahovina, drugi sloj je sedra pomiješana s mrtvim stabalcima mahovina, a treći sloj je starija sedra. Izolirane jedinke fiksirala sam u 70 % -tnom etanolu. Za potrebe ovog rada posebno sam izdvojila i analizirala ličinke iz porodice Hydropsychidae.

Za ovo istraživanje je bilo potrebno znati dimenzije ličinki porodice Hydropsychidae, stoga sam svaku jedinku izmjerila pomoću milimetarskog papira umetnutog ispod predmetnog stakalca koje je imalo mikrometarsko mjerilo (*stage micrometer*), (slika 2.). Mjerila sam širine i dužine glava te dužine tijela svake ličinke nakon čega sam ih rasporedila u 5 stadija po dimenzijama. Glavna mjera pri određivanju razvojnih stadija bila je širina glave (Hrovat i Urbanič, 2012).



Slika 2: Mikrometarsko mjerilo

Osim dimenzija i brojnosti, određivala sam i suhu biomasu jedinki vaganjem po 20 jedinki svakog razvojnog stadija te računala srednju vrijednost mase jedinke (osim najvećih jedinki kojih je bilo manje od 20 – u tom sam slučaju vagala sve jedinke). Jedinke sam prethodno osušila pod infracrvenim svjetiljkama pri temperaturi od 85 °C do konstantne mase i vagala nakon hlađenja u eksikatoru. Za dobivanje vrijednosti sekundarne produkcije koristila

sam metodu učestalosti veličinskih razreda (engl. „size frequency method“). Za potrebe tog izračuna koristila sam podatke o broju jedinki (N) i njihovih masa (m (ind)), a uz pomoć sljedećih formula dobila sam vrijednosti potrebne za konačni izračun sekundarne produkcije.

Srednja vrijednost masa iz 2 susjedna stadija $\rightarrow m (av) = (m (ind1) + m (ind2)) / 2$ (mg)

Gubitak jedinki iz 2 susjedna stadija $\rightarrow \Delta N = N_{1-5} / 5$ stadija (jed./m²)

Ukupni gubitak biomase jedinki $\rightarrow \Delta m = \Delta N * m (av)$ (mg/m²)

Sekundarna produkcija jedinki $\rightarrow SP = \Delta N * m (av) * 5$ (jed./m²)

3. REZULTATI

3.1 Razdvajanje dviju sličnih vrsta

Prvi korak u obradi podataka je razlučiti veličinske kategorije, odnosno razvrstati uzorak u odgovarajući broj ličinačkih stadija. Holometabolni kukci su u tom smislu zahvalniji jer za razliku od hemimetabolnih imaju definiran broj razvojnih ličinačkih stadija neovisno o uvjetima u okolišu. U slučaju tulara radi se o 5 ličinačkih stadija.

Determinacija temeljena na morfološkoj analizi i izmjerenim dimenzijama ličinki Hydropsychidae (slika 3.), pokazala je da se radi o 2 vrste – *H. saxonica* i *H. instabilis*. Budući da imaju sličan životni ciklus, a slične su i prema dimenzijama, nekim funkcionalnim obilježjima, načinom prehrane te sklonostima prema kakvoći vode, bilo je potrebno istraživati na velikom uzorku kako bih mogla vidjeti potencijal njihovog razlučivanja.

Za obje vrste mjerila sam dimenzije glave (širinu i duljinu) te duljinu tijela, a na temelju širina glave kao glavnog parametra za određivanje razvojnog stadija (Hrovat i Urbanič, 2012), raspodijelila sam ih na 5 razvojnih stadija (tablica 1.).



Slika 3: Ličinka Hydropsychidae.

Tablica 1. Stadiji ličinki temeljem širina glava u mm

| Razvojni stadiji | <i>H. instabilis</i> | <i>H. saxonica</i> |
|------------------|----------------------|--------------------|
| 1 | 0,2 - 0,3 | 0,3 - 0,35 |
| 2 | 0,4 | 0,5 - 0,6 |
| 3 | 0,5 - 0,6 | 0,6 - 0,7 |
| 4 | 0,7 - 0,8 | 0,8 - 0,9 |
| 5 | 1 - 1,1 | 1,2 - 1,7 |

3.2 Biomasa i sekundarna produkcija

Za izračun sekundarne produkcije postoji niz metoda (Hauer i Lamberti 2007). U slučaju mjesečnih izlazaka na teren valja rabiti metodu učestalosti veličinskih razreda. Za izračun su potrebni podaci: broj (N) i biomasa jedinki (m (ind)). Iz njih se izračunavaju srednje vrijednosti masa jedinki između 2 stadija (m (av)), gubitak jedinki između 2 stadija (ΔN) i ukupno izgubljena biomasa jedinki (Δm). Detalje izračuna prikazuju tablice 2-5.

Tablica 2: Masa, sekundarna produkcija i broj ličinki vrste *H. instabilis* na barijeri Milanovac po m².

| Razvojni stadij | N | m (ind) | m (av) | ΔN | Δm | SP |
|-----------------|---------------------|----------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | jed./m ² | mg | mg | jed./m ² | mg/m ² | jed./m ² |
| 1 | 12578,62 | 0,000043 | 0,000078 | 4402,52 | 0,344 | |
| 2 | 8176,10 | 0,000113 | 0,000201 | 628,93 | 0,126 | |
| 3 | 7547,17 | 0,000289 | 0,000502 | 2515,72 | 1,262 | |
| 4 | 5031,45 | 0,000714 | 0,003782 | 628,93 | 2,379 | |
| 5 | 4402,52 | 0,006850 | 0,006850 | 4402,52 | 30,157 | 34,27 |

Tablica 3: Masa, sekundarna produkcija i broj ličinki vrste *H. instabilis* na barijeri Novakovića brod po m²

| Razvojni stadij | N | m (ind) | m (av) | ΔN | Δm | SP |
|-----------------|---------------------|----------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | jed./m ² | mg | mg | jed./m ² | mg/m ² | jed./m ² |
| 1 | 13207,55 | 0,000047 | 0,000110 | 2515,72 | 0,277 | |
| 2 | 10691,82 | 0,000173 | 0,000281 | 1257,86 | 0,354 | |
| 3 | 9433,96 | 0,000389 | 0,000752 | 1257,86 | 0,945 | |
| 4 | 8176,10 | 0,001114 | 0,004570 | 6918,24 | 31,614 | |
| 5 | 1257,86 | 0,008025 | 0,008025 | 1257,86 | 10,094 | 43,28 |

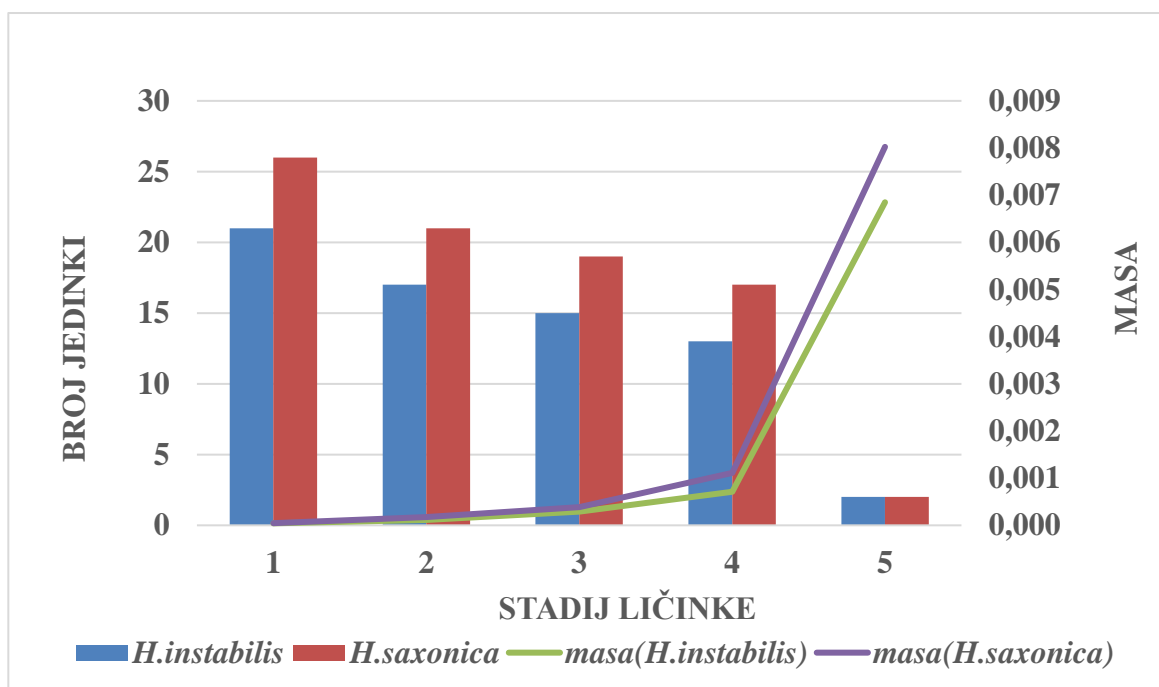
Tablica 4: Masa, sekundarna produkcija i broj ličinki vrste *H. saxonica* na barijeri Milanovac po m²

| Razvojni stadij | N | m (ind) | m (av) | ΔN | Δm | SP |
|-----------------|---------------------|----------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | jed./m ² | mg | mg | jed./m ² | mg/m ² | jed./m ² |
| 1 | 18239,00 | 0,000047 | 0,000110 | 1886,79 | 0,208 | |
| 2 | 16352,20 | 0,000173 | 0,000281 | 3144,65 | 0,884 | |
| 3 | 13207,55 | 0,000389 | 0,000752 | 1886,79 | 1,418 | |
| 4 | 11320,75 | 0,001114 | 0,004570 | 3144,65 | 14,370 | |
| 5 | 8176,10 | 0,008025 | 0,008025 | 8176,10 | 65,613 | 82,49 |

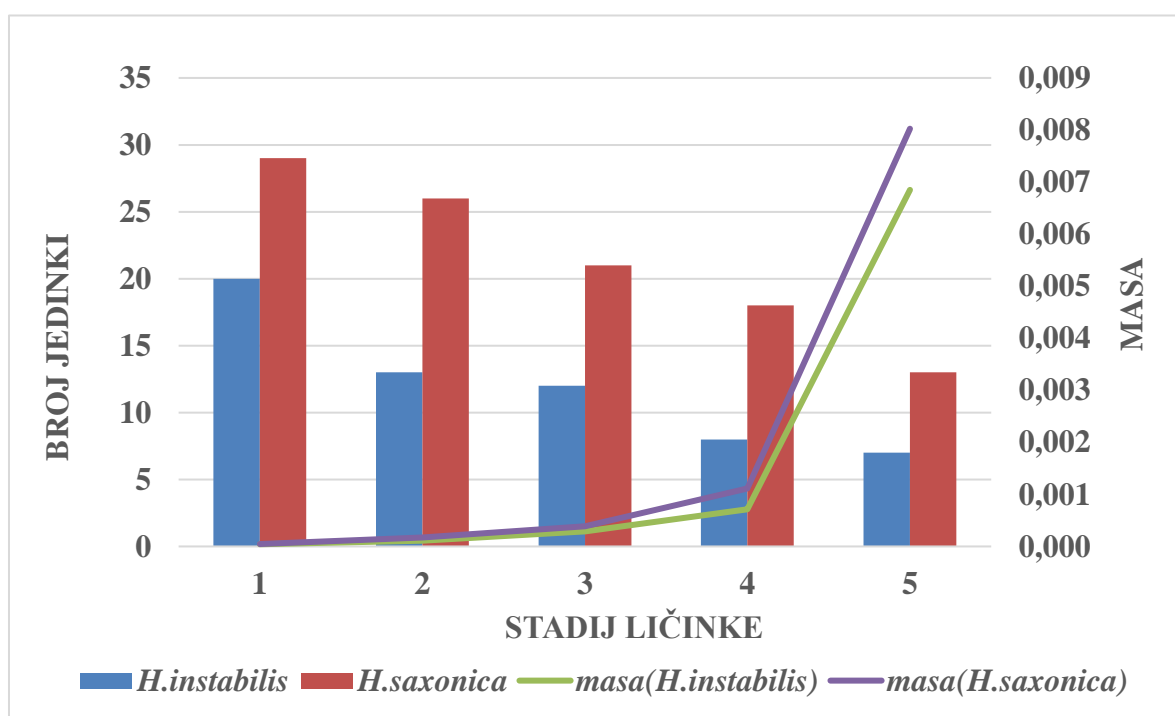
Tablica 5: Masa, sekundarna produkcija i broj ličinki vrste *H. saxonica* na barijeri Novakovića brod po m².

| Razvojni stadij | N | m (ind) | m (av) | ΔN | Δm | SP |
|-----------------|---------------------|----------|----------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | jed./m ² | mg | mg | jed./m ² | mg/m ² | jed./m ² |
| 1 | 16352,20 | 0,000043 | 0,000078 | 3144,65 | 0,246 | |
| 2 | 13207,55 | 0,000113 | 0,000201 | 1257,86 | 0,253 | |
| 3 | 11949,69 | 0,000289 | 0,000502 | 1257,86 | 0,631 | |
| 4 | 10691,82 | 0,000714 | 0,003782 | 9433,96 | 35,681 | |
| 5 | 1257,86 | 0,006850 | 0,006850 | 1257,86 | 8,616 | 45,43 |

Sazrijevanjem jedinki od 1. do 5. stadija, smanjivala se njihova brojnost, dok je masa rasla. Takav odnos zabilježen je na obje istraživačke postaje i za obje istraživane vrste (slika 4 i 5).



Slika 4: Odnos veličine i mase jedinki na barijeri Milanovac.



Slika 5: Odnos veličine i mase jedinki na barijeri Novakovića brod.

4. RASPRAVA

Mnogi autori izvještavaju o tome kako različitost mikrostaništa utječe na ličinačke stadije tulara, a posebno one iz porodice Hydropsychidae (Muotka, 1990; Boon, 1979). Temperatura vode i varijacije u temperaturi vode, 2 su najvažnija okolišna faktora koja utječu na obilježja životnog ciklusa, a posebice na brzinu rasta akvatičkih kukaca (Sweeney, 1984).

Ličinkama Hydropsychidae se tijekom ličinačkog razvoja u 3., 4., i 5. stadiju pojavljuju predljljive žlijezde kojima izlučuju svilu kojom pletu mrežu (Fuller, 1980). Na njima sakupljaju detritus iz struje vode što im olakšava hranjenje i pomaže im u stabiliziranju toka vode grupiranjem čestica supstrata tako što ih sljepljuje (Cardinale i sur., 2004). Izgradnja mreža, kao i ostale adaptivne sposobnosti omogućuju porodici Hydropsychidae mijenjanje okoliša, što za posljedicu ima snažan utjecaj na cijeli ekosustav pa ih nazivamo još i inženjerima ekosustava (eng. *ecosystem engineers*).

Temperatura vode i brzina strujanja pokazali su utjecaj na lučenje svile iz predljljivih žlijezdi ličinki (Fuller, 1980), a Williams i Hogg (1988) zaključili su da je nesklad u populaciji tipičan za područja sa niskom temperaturnom varijacijom i niskom temperaturom općenito. S druge strane, vrste porodice Hydropsychidae imaju univoltan životni ciklus sa pojavom emergencije u ljeto i ranu jesen (Kučinić, 2002), kako je to uobičajeno u krajevima s optimalnom temperaturom poput Dinarske regije. Emergencija tulara događa se intenzivno od ožujka do lipnja (Previšić i sur., 2007).

Vrste *H. instabilis* i *H. saxonica* su umnogome slične po svojim životnim ciklusima, nekim funkcionalnim obilježjima, načinu života, a pokazuju i slične preferencije spram kakvoće vode. Naime, obje vrste sklonije su i indikator su oligosaprobnih i beta-mezosaprobnih voda (Moog, 2002). Prelazak na predatorstvo kao dominantni način prehrane, javlja se kod porodice Hydropsychidae u posljednjim stadijima životnog ciklusa, kao i kod većine vodenih kukaca (Anderson, 2011).

Iako dosta slični, predstavnici vrsta *H. saxonica* i *H. instabilis* ipak se razlikuju po dimenzijama glave, zastupljenosti na pojedinoj istraživačkoj lokaciji i vrijednostima sekundarne produkcije. Zajednica vrste *H. saxonica* je bila brojnija i većih dimenzija od *H. instabilis* na obje lokacije. Podaci o dimenzijama glave za sve ličinačke stadije predstavnika vrste *H. saxonica* odgovarali su literaturnim podacima koji su mi bili dostupni u Dinarskoj regiji (Hrovat i Urbanić, 2012). Podatke o dimenzijama glave tijekom ličinačkog razvoja za

vrstu *H. instabilis* nisam pronašla za Dinaridsku regiju, a zbog velike razlike u dimenzijama glave vrsta koje žive na hladnijem području, nisam mogla usporediti takve podatke sa svojima. Time je ovaj rad važan, jer se prvi puta navodi razlika u dimenzijama, biomasi i posljedično sekundarnoj produkciji za dvije vrlo česte i simultano prisutne vrste procjeđivača u hrvatskim krškim tekućicama.

Na istraživačkoj postaji barijere Milanovac pronađeno je više jedinki vrste *H. saxonica* nego na barijeri Novakovića brod. Općenito je poznato da su uzvodne barijere u ovom sustavu uvijek bogatije vrstama, ali i zajednice su veće gustoće (Miliša i sur., 2006, Miliša, 2007). U slučaju ovog istraživanja vjerojatno je dodatni utjecaj na veću brojnost imala i činjenica da se barijera Milanovac nalazi neposredno nakon najvećeg jezera u sustavu Plitvičkih jezera pa je sukladno i najbogatije česticama iz epilimnijske vode koje su onda dostupne ličinkama tulara. Vrsta *H. instabilis* bila je brojnija na barijeri Novakovića brod u odnosu na barijeru Milanovac, a sveukupno se vrsta *H. saxonica* pokazala dominantnijom u brojnosti na oba područja istraživanja. Kod obiju vrsta brojnost je padala od 1. do 5. stadija ličinke, što može biti u korelaciji s njihovim prijelazom na predatorstvo u posljednjim stadijima životnog ciklusa. Na postaji barijere Novakovića brod dogodio se veći pad brojnosti zadnjeg ličinačkog stadija kod obiju vrsta, što je vjerojatno posljedica manjka tvari dostupnih za ličinke koje u toj fazi životnog ciklusa traže kvalitetnije izvore nutrijenata iz sestona (Oswood, 1979). Analizama probavila, utvrđeno je kako je detritus glavni izvor hrane ličinki tulara, stoga će njihova zastupljenost ovisiti upravo o količini dostupnog hranjiva u jezeru (Benke, 1980.).

Vrijednosti biomasa rastle su od 1. do 5. stadija kod obiju vrsta na obje istraživačke postaje, a najveći skok biomase bio je između posljednja dva stadija. Prinos biomase u tim zadnjim stadijima života ličinki porodice Hydropsychidae događa se istovremeno kada i prijelaz na predatorstvo što je posebno važan moment u opisu njene uloge u cjelokupnom ekosistemu. Osim dimenzija, *H. saxonica* je dominantna vrsta i prema vrijednostima biomase i sekundarne produkcije. Prisutnost, odnosno odsutnost te vrste ključna je u cjelokupnom utjecaju na ekosustav i što je više ima, to će biti veće njene vrijednosti sekundarne produkcije na istraživanom području.

Metoda učestalosti veličinskih razreda najprikladnija je metoda izračuna sekundarne produkcije kada se u populacijama ne mogu pratiti kohorte (Hauer i Lamberti, 2006). To je najčešći slučaj u Dinarskom kršu u kojem tulari imaju raznovrsne životne cikluse (Kućinić, 2002). Pomoću te metode dokazala sam da su vrijednosti sekundarnih produkcija za obje vrste

koje se nalaze na jezeru Novakovića brod manje nego na jezeru Milanovac. Za vrstu *H. saxonica* sekundarna produkcija je bila puno veća na jezeru Milanovac, dok je za vrstu *H. instabilis* vrijednost bila neznatno veća na jezeru Novakovića brod. Rezultati o sastavu faune ukazuju na to da se uzorci uzeti tijekom istraživanja mogu smatrati reprezentativnima za dulje razdoblje čime podaci o izračunu sekundarne produkcije dobivaju na značaju budući da do sada tijekom više od 50 godina sustavnog istraživanja faune nema objavljenih podataka o sekundarnoj produkciji niti jedne svojte na Plitvičkim jezerima.

5. ZAKLJUČAK

Ovim radom razmotrila sam veliku važnost porodice Hydropsychidae u hranidbenoj mreži Plitvičkih jezera, s naglaskom na njen heterotrofni dio. Naizgled maleni kukci, imaju veliku ulogu u protoku energije sedrotvornih sustava jer svojom brojnošću, širokim zauzimanjem ekoloških niša te izvanrednom prilagodbom različitim životnim uvjetima premašuju ostale akvatičke kukce.

H.saxonica i *H.instabilis* bili su moji predstavnici ove skupine inženjera ekosustava, a određivanjem njihovih dimenzija olakšala sam posao razlučivanja tih dviju morfološki, ali i po drugim obilježjima vrlo sličnih vrsta. Naime, literatura dostupna za dimenzije tih dviju vrsta za slična klimazonalna područja je slabo zastupljena, stoga sam teško mogla usporediti svoje rezultate sa već postojećima, što je podjelu na ličinačke stadije dodatno otežalo, ali na kraju i dalo pregledne te najnovije rezultate za proučavana područja Plitvičkih jezera. Zanimljivo je kako se zbog odlične prilagodbe, morfološke razlike tih vrsta mijenjaju u različitim okolišnim uvjetima pa stoga smatram da bi bilo dobro analizirati i pratiti ne samo vrste *H.saxonica* i *H.instabilis*, nego i ostale predstavnike porodice Hydropsychidae na cijelom području njihove rasprostranjenosti, čime bi povećali saznanja o njima i dostupnost znanstvenih radova. Sekundarna produkcija, kao naizgled kompleksan račun, pokazala se jako dobrom metodom koja obuhvaća masu i brojnost jedinki, a u korelaciji je sa njihovim dimenzijama pa nam daje preglednu i sveobuhvatnu informaciju o proučavanim vrstama te može predstavljati matematički izazov većini biologa. Problem u biološkim istraživanjima je što ne postoji jedinstvena formula koja će nam pokazati sve što smo proučavali u jednom rezultatu nego treba uvijek uzeti u obzir sve čimbenike koji utječu na naše istraživanje te shvatiti zašto i kako utječu, jer tek tada dobivamo smisao i širu sliku gledanja koja će nam pomoći u konačnom rezultatu. Stoga, na kraju ovog rada mogu utvrditi da je vrsta *H.saxonica* pokazala dominaciju naspram vrste *H.instabilis* u dimenzijama te posljedično i u

vrijednostima sekundarne produkcije, uzevši u obzir sve okolišne čimbenike i gore navedene zaključke. Time ne želim istaknuti da je vrsta *H. instabilis* manje bitna na proučavanom području već da se one ipak razlikuju u nečemu te su jednako bitne u ekosustavu naših Plitvičkih jezera, svaka na svoj način i s razlogom.

6. REFERENCE

- ANDERSON, N.H., CUMMINS, K.W. (2011): Influences of Diet on the Life Histories of Aquatic Insects.
- BELANČIĆ, A., MATONIČKIN KEPČIJA, R., MILIŠA, M., PLENKOVIĆ MORAJ, A., HABDIJA, I. (2009): Flow Velocity Effect on Leaf Litter Breakdown in Tufa Depositing System (Plitvice Lakes, Croatia).
- BENKE, A.C., WALLACE, J. B. (1980): Trophic Basis of Production Among Net-Spinning Caddisflies in a Southern Appalachian Stream.
- BOON, P.J. (1979): Adaptive Strategies of Amphipsyche Larvae (Trichoptera: Hydropsychidae) Downstream of a Tropical Impoundment.
- CARDINALE, B. J., GELMANN, E. R., PALMER, M. A. (2004): Net spinning caddisflies as stream ecosystem engineers: the influence of Hydropsyche on benthic substrate stability
- CARTHEW, D.K., DRYSDALE, R.N., TAYLOR M.P. (2003): Tufa deposits and biological activity, Riversleigh, northwestern Queensland.
- CHAFETZ H. S., SRDOČ D., HORVATINČIĆ N. (1994). Early diagenesis of Plitvice Lakes waterfall and barrier travertine deposits. *Géographie physique et Quaternaire* 48: 247–255.
- CHEN J., ZHANG D. D., WANG S., XIAO T., HUANG R. (2004): Factors controlling tufa deposition in natural waters at waterfall sites. *Sedimentary Geology* 166: 353–366.
- CZACHOROWSKI, S. (1989): Differentiation of the habitats of Hydropsychidae larvae (Insecta: Trichoptera) in the Pasleka River as a result of avoidance of trophic competition.
- FAIRCHILD, M.P., HOLOMUZKI, J.R. (2005): Multiple predator effects on microdistributions, survival, and drift of stream hydropsychid caddisflies.
- FULLER, R.L., MACKAY, R.J. (1980): Field and laboratory studies of net-spinning activity by Hydropsyche larvae (Trichoptera: Hydropsychidae).
- GILLER, P., MALMQVIST, B. (1988) : *The Biology of Streams and Rivers*, Oxford University Press, 304.

- HABDIJA I., PRIMC HABDIJA B., RADANOVIĆ I., ŠPOLJAR M., MATONIČKIN KEPČIJA R., VUJČIĆ KARLO S., MILIŠA M., OSTOJIĆ A., SERTIĆ PERIĆ M. (2011): Protista – protozoa, metazoa – invertebrata. Alfa, Zagreb, 584. s
- HABDIJA, I., RADANOVIĆ, I., PRIMC-HABDIJA B., ŠPOLJAR, M.(2002): Vegetation Cover and Substrate Type as Factors Influencing the Spatial Distribution of Trichopterans along a Karstic River.
- HALEY C.J. (1997): Comparisons of Secondary Production, Life History, and Mouthpart Functional Morphology between two Populations of the Amphipod *Gammarus minus*. Ph.D. Thesis, Faculty of the Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg.
- HAUER, F. R., LAMBERTI, G. A. (2007): Methods in stream ecology. Amsterdam: Academic Press.
- HEMPHILL N. (1988): Competition between two stream dwelling filter-feeders, *Hydropsyche oslari* and *Simulium virgatum*.
- HICKIN, W. (1967.) : Caddis larvae (Larvae of British Trichoptera). Hutchinson&Co., London.
- HOLZENTHAL, R.W., BLAHNIK, R.J., PRATHER, A.L. I KJER, K.M. (2007): Order Trichoptera Kirby, 1813 (Insecta), Caddisflies. U: Zhang, Z.Q. i Shear, W.A. (ur.) Linnaeus Tercentenary: Progress in Invertebrate Taxonomy. Zootaxa, 1668: 639-6–698.
- HROVAT, M., URBANIČ, G. (2012): Life cycle of *Rhyacophila fasciata* Hagen, 1859 and *Hydropsyche saxonica* McLachlan, 1884 in a Dinaric karst river system.
- KEMPE, S., EMEIS, K. (1985): Carbonate chemistry and the formation of Plitvice Lakes. Mitteilungen des GeologischPalaäontologischen Institutes der Universität Hamburg 58: 351–383.
- KUČINIĆ, M. (2002): Raznolikost i rasprostranjenost tulara (Trichoptera, Insecta) u staništima Plitvičkih jezera. Doktorska disertacija, Sveučilište u Zagrebu, 1–139.
- MACKAY, R. J., I WIGGINS, G. B. (1979): Ecological diversity in Trichoptera. Annual Review of Entomology, 24: 185-208.
- MALICKY, H. (1983.) : Atlas of European Trichoptera. Dr.-W. Junk Publishers, Hague.

- MALICKY H. (1973): Trichoptera (Handbuch der Zoologie). Walter de Gruyter, Berlin, 114.
- MALMQVIST, B. I WOTTON, R. S. (2002): Do tributary streams contribute significantly to the transport of faecal pellets in large rivers?, *Aquatic sciences*, 64: 156-162.
- MALMQVIST, B. I ERIKSSON, A. (1995): Benthic insects in Swedish lake-outlet streams: patterns in species richness and assemblage structure. *Freshwater biology*, 34: 285-296.
- MATONIČKIN I., PAVLETIĆ, Z. (1960.): Biološke karakteristike sedrenih slapova u našim krškim rijekama. *Geografski glasnik*, br.22: 43-54.
- MILIŠA, M. (2007): Djelovanje strujanja vode na raspodjelu organskog detritusa i funkcionalni ustroj makrozoobentosa u briofitskim zajednicama krških tekućica. Doktorska disertacija.
- MILIŠA M., HABDIJA I., PRIMC-HABDIJA B., RADANOVIĆ I., MATONIČKIN KEPCĀIJA, R. (2006): The role of flow velocity in the vertical distribution of particulate organic matter on moss- covered travertine barriers of the Plitvice Lakes (Croatia). *Hydrobiologia*, 553: 231–243.
- MILIŠA, M., MATONIČKIN KEPCĀIJA, R., RADANOVIĆ, I., OSTOJIĆ, A., HABDIJA, I. (2006): The impact of aquatic macrophyte (*Salix* sp. and *Cladium mariscus* (L.) Pohl.) removal on habitat conditions and macroinvertebrates of tufa barriers (Plitvice Lakes, Croatia).
- MORSE J.C. (2003): Trichoptera (caddisflies). U: Resh, V.H. i Carde, R.T. (ur.) *Encyclopedia of Insects*. Academic press, San Diego, 1145-1151.
- MORSE, J.C. (2003): Trichoptera (caddisflies). U: Resh, V.H. i Carde, R.T. (ur.) *Encyclopedia of Insects*. Academic press, San Diego, 1145-1151.
- MUOTKA, T. (1990): Coexistence in a guild of filter feeding caddis larvae: do different instars act as different species?
- OSWOOD, M.W. (1979): Abundance patterns of filter-feeding Caddisflies (Trichoptera : Hydropsychidae) and seston in a Montana (U.S.A.) lake outlet.
- OTTO, M. (2002): FAUNA AQUATICA AUSTRIACA; A Comprehensive Species Inventory of Austrian Aquatic Organisms with Ecological Notes.

OTTO, C. (1981): Why does duration of flight period differ in caddisflies? *Oikos*, 37: 383-386.

PREVIŠIĆ, A., KEROVEC, M., KUČINIĆ, M. (2007): Emergence and Composition of Trichoptera from Karst Habitats, Plitvice Lakes Region, Croatia.

PRIMC-HABDIJA, B., HABDIJA, I., PLENKOVIĆ-MORAJ, A. (2001): Tufa deposition and periphyton overgrowth as factors affecting the ciliate community on travertine barriers in different current velocity conditions.

SRDOČ, D., HORVATINČIĆ, N., OBELIĆ, B., KRAJCAR, I., SLIEPČEVIĆ, A. (1985): Procesi taloženja kalcita u krškim vodama s posebnim osvrtom na Plitvička jezera. *Carsus Jugoslaviae* 11: 101 - 204.

STILINOVIĆ B. (1994): Temeljni fenomen Plitvičkih jezera. U: Plitvička jezera – nacionalno dobro Hrvatske, svjetska baština: znanstveni skup. Uprava NP Plitvička jezera, Zagreb, 53-67.

STUIJFZAND, S. C., ENGELS, S., VAN AMMELROOY, E., JONKER, M. (1999): Caddisflies (Trichoptera: Hydropsychidae) Used for Evaluating Water Quality of Large European Rivers.

SWEENEY, W.B., VANNOTE, R.L. (1984): Influence of food quality and temperature on life history characteristics of the parthenogenetic mayfly, *Cloeon triangulifer*.

WAGNER, R. (2005): Spatial, temporal and competition effects on size and weight of caddisflies (Insecta, Trichoptera) in emergence traps.

WALLACE, I.D., WALLACE, B. & PHILIPSON, G.N. (1990) : A key to the Case-bearing Caddis larvae of Britain and Ireland. Freshwater Biological Association, Kendal.

ZHANG, D.D., PEART, M., ZHANG, Y., CHENG, X. (2000): Natural water softening processes by waterfall effects in karst areas.

7. SAŽETAK

Sekundarna produkcija ličinki porodice Hydropsychidae (Insecta: Trichoptera) sedrenih barijera

Daniela Kreber

Ličinke tulara isključivo su akvatičke i čine jednu od najzastupljenijih skupina životinja vodenog ekosustava Plitvičkih jezera, gdje obitavaju prvenstveno na sedrenim barijerama. Porodica Hydropsychidae spada u procjeđivačku faunu, skupinu koja je izuzetno važna u sustavu preljevnih jezera u kojima jezerska voda sadrži veći dio organskih čestica. Procjeđivači te čestice eliminiraju iz stupca vode i pretvaraju u biomasu koja je raspoloživa u bentoskoj zajednici i tako sudjeluju u prijenosu energije od sestona do tkiva životinja. U ovom radu prikazan je obrazac rasta ličinki roda *Hydropsyche* na dvjema sedrenim barijerama (izljevi jezera Milanovac i Novakovića Brod) te količina sekundarne produkcije tijekom njihovog razvoja. Razlučili smo da se radi o dvije vrste (*Hydropsyche saxonica* (McLachlan, 1884) i *H. instabilis* (Curtis, 1834)). Pri razlučivanju pet ličinačkih stadija primarno smo koristili širinu glave, ali pratili smo i duljinu glave i tijela, te masu koja je bila važan parametar pri izračunu sekundarne produkcije. Većina jedinki pronađena je u sloju mahovine. U dubljem sloju sedre pretežno su pronađene mlade ličinke, koje su primarno sakupljači te kasnije u životnom ciklusu prelaze na dominantni način prehrane. Najviše ličinki prvog i drugog stadija je zabilježeno u srpnju čime označavamo početak njihovog ciklusa. Vrsta *H. saxonica* bila je brojnija na barijeri Milanovac, a *H. instabilis* na barijeri Novakovića brod. Sveukupno na obje lokacije, *H. saxonica* je bila dominantnija u brojnosti, a osim toga bila je i većih dimenzija i posljedično većih vrijednosti sekundarne produkcije. Na barijeri Milanovac, ona je pokazala puno veću vrijednost sekundarne produkcije naspram vrste *H. instabilis* najvjerojatnije uslijed većih dimenzija.

KLJUČNE RIJEČI: Procjeđivači, *Hydropsyche*, ličinački stadij, sekundarna produkcija, Hrvatska.

8. SUMMARY

Secondary production of larvae of the family Hydropsychidae (Insecta: Trichoptera) on the tufa barriers

Daniela Kreber

Trichoptera larvae are exclusively aquatic and they are the most abundant group of animals in the aquatic ecosystem of Plitvice lakes, where they primarily live on tufa barriers. Family Hydropsychidae are a part of the filtering fauna, a functional group that is extremely important in the overflow lake system, where overflowing water contains great amount of organic particles. Filtering fauna eliminate these particles from the water column and transform them into biomass available in the benthic community and in that way, they participate in transferring energy. In this study, a growth pattern and the amount of the secondary production of the hydropsychid larvae at two tufa barriers (lakes Milanovac and Novakovića brod) is presented. I have determined that the dominance of two species (*Hydropsyche saxonica* (McLachlan, 1884) and *H. instabilis* (Curtis, 1834)). When distinguishing five larval stages, I primarily used the width of the head capsule, but I also noted the length of the head capsule and body, and the mass, which was an important parameter in the calculation of secondary production. Most of the individuals were found in the moss layer. In the deeper tufa layer, young larvae have been found, which are primarily collectors, transferring to dominant mode of filter feeding later in life cycle. The most larvae of the first and second stages were recorded in July, thus marking the beginning of their cycle. *H. saxonica* was more abundant at Milanovac barrier, and *H. instabilis* on Novakovića brod barrier. Overall, at both locations *H. saxonica* dominated in abundance, size and consequently in the amount of secondary production. At the Milanovac barrier, *H. saxonica* exhibited grater abundances and much higher value of secondary production versus *H. instabilis*, probably due to its body size.

KEY WORDS: Filtering fauna, *Hydropsyche*, secondary production, larval stages, Croatia